

A jelentés tárgyát képező kutatás 2004. X.-2006. II. valamint 2007. IV.-2008. IX. között folyt „Új módusszinkronizálási eljárás kutatása ultrarövid lézerimpulzus létrehozásának céljából” címen.

A kutatás két fő területet érintett, amelynek az első, illetve a második szakaszban voltak hangsúlyosak. A kutatás első szakasza szorosan a címhez köthető alapkutatásra, második szakasza speciális, a szakirodalomban „localised waves, LWs” elnevezésű nyalábok előállítására és alkalmazásukra irányult.

A kapcsolódó tématerületek

A nagyenergiájú ultrarövid lézerimpulzusok létrehozása a lézerfizika egyik legfontosabb kutatási területe, amelynek kiemelkedő aktualitását az attofizika megjelenése adja. Az attoszekundumos impulzusok előállítása és ezzel az attoszekundumos időfelbontású pumpa-próba kísérletek jelenleg a lézerfizika eszközeire alapulnak. A területet átfogóan bemutató legfrissebb review cikk az alábbi linken érhető el:

http://www.attoworld.de/publications/Reviews_of_Modern_Physics/RMP81_2009.pdf

A LWs terén bevezető irodalomként a <https://www.etis.ee> weboldalon Peeter SAARI publikációi közül tölthető le az alábbi 2008-ban megjelent könyvfejezet:

Linear-optical generation of localized waves

Type of publication a chapter in a book

Authors Reivelt, K.; Saari, P.

Author: Peeter Saari.

Author: Kaido Reivelt.

Editor(s) Hernández-Figueroa, H. E. ; Zamboni-Rached, M.; Recami, E.

Language English

Periodical Localized Waves: Theory and Applications

Place of publishing New Jersey

Publishing house John Wiley & Sons Ltd

Year 2008

A témám címében szerepeltetett módusszinkronizálás vizsgálat olyan gyors impulzusfelépülést eredményező és kis diszperzióbevitttel járó eljárás kutatására irányult, amelynek segítségével nagyenergiájú Ti:zafír lézerimpulzus oszcillátorbeli előállítását kívántam megalapozni. A rezonátor alkalmazását a nagyenergiás impulzusok előállítása terén egyfelől a fókuszált intenzitás maximalizálása okán a módustisztító hatás, másfelől a többlépcsős bonyolult lézerrendszerek helyettesítésének lehetősége indokolta. A vizsgált koncepcióban pumpáló lézerként villanólámpával pumpált frekvenciakétszerezett Nd:YAG lézert feltételeztem, amely közvetlenül hajtja meg a nagyenergiás oszcillátort. A javasolt rendszerben a pumpálás intenzitását rezonátoron belüli akusztóoptikus modulátor szabályozza. A Ti:zafír oszcillátorban alkalmazott aktív anyagon belüli széles nyalábnyakon keresztül a Kerr-lencse hatás az impulzusfejlődés kései szakaszára állítható be, elkerülve annak nyalábtorzító viselkedését, amely a hagyományos Ti:zafír lézerekkel elérhető impulzusenergiák növelésének egyik korlátja. A Nd:YAG aktív anyag hosszú fluoreszcencia ideje lehetővé teszi a pumpálás elektronikus szabályozását, ami lehetőséget ad a Ti:zafír impulzus fejlődésének szakaszolására és a nyaláb tisztítására is. A módusszinkronizálás vizsgált lehetséges módszerei egyfelől újdonságok, amelyek új effektust/eszközt kívánnak alkalmazni, másfelől ismert módszerek kombinációi.

I. Vizsgálataim alapján a másodharmónikus keltésen alapuló ismert módszert új eszközként periodikusan átpolározott nemlineáris kristályokkal vizsgáltam. Ennek eredményeként tetszőleges

bemeneti csőrp esetében sem valósítható meg olyan konverziós folyamat, amelynek kimenetén az alap és a felharmónikus impulzus egyidejűleg diszperziókompenzált lenne, bár a csoportsebességek illeszthetősége megvalósítható. Ez önmagában nem jelent olyan előnyt, amely kísérletes alkalmazásukat indokolná.

II. A másodharmónikus jel fázisviszonyainak elemzése során kimutattam, hogy az alapharmónikus rendezetlen spektrális fázisa esetében a másodharmónikus jel spektrális fázisa nem valamely kiátlagolásaként jelentkezik az alapharmónikusénak, hanem az alapharmónikuséhoz hasonló rendezetlen jelleget hordoz. A konverzió-visszakonverzió folyamatlánc több tucat lépését kiszámítva és a visszakonverzió előtt irányított fázismodulációt alkalmazva sem lehet elérni hogy az előálló alapharmónikus jel fázisa a kiindulásnál rendezettebb jellegű legyen. Mindez a konverziólánc módusszinkronizáló hatásának tekintetében azt jelenti, hogy az másodlagos hatásoktól mentes passzív módusszinkronizálási módszer, amelynek elemzésében a nemlineáris veszteségbevitelre vonatkozó irodalmi eredmények alkalmazhatók.

III. A nemlineáris veszteségbevitel diafragmával és dichroikus tükörrel megvalósított módjait a technikai megvalósítás szempontjából vizsgáltam. Ennek egyik eredményeként megállapítottam, hogy a dichroikus tükörrel kapcsolatban az oszcillátor működési sáv szélességét nem befolyásolja lényegesen az a körülmény, ha a tükör sáv szélessége akár jóval alatta marad a fázisillesztett konverzió eredményezte másodharmónikus jelének.

A nagyenergiás oszcillátor nem követeli meg, hogy fókuszált nyalábbal valósuljon meg a frekvenciakonverzió és ezért megvizsgáltam, hogy a fenti megállapítás az oszcillátoron belül tetszőleges pozícióban megvalósított SHG-ra teljesül-e. Megállapítottam, hogy dichroikus veszteségbevitel esetén a spektrális hatás nem függ a konvertáló egység pozíciójától.

Ezzel szemben diafragmás elrendezésben a másodharmónikus keltő egység rezonátoron belüli elhelyezkedése figyelembe veendő szempont. A működési spektrumot lényegében nem befolyásoló diafragma méret a rezonátorbeli nyalábnyakak Raileigh-tartományán belül megvalósuló SHG esetében jóval kisebb (akár fele is) lehet, mint a „távoltérbeli” SHG-nál. Ez a nagyobb alapharmónikusra bevitt veszteség következtében az impulzusfejlődés dinamikájára van hatással.

A dichroikus veszteségbevitel tetszőlegesen variálható, míg a csoportsebesség-diszperzió szempontjából előnyösebb diafragmás veszteségbevitel mintegy 35%-ban van limitálva az alapharmónikusra a SHG jel 5% alatti vesztesége mellett.

IV. A gyors impulzusfejlődés feltételeit vizsgáltam Q-kapcsolt pumpálást feltételezve. A felharmónikus keltésen alapuló módszer esetén diffrakciós veszteségbevitel maximális lehetőségei mellett az impulzusfejlődés nagyságrendileg adódott lassabbnak (a Build Up Time néhány tízezer körülfutás), mint a néhányszor nagyobbknak beállítható dichroikus, vagy polarizáció függő veszteség esetén (BUT néhány ezer körülfutás). Ez utóbbi érték jellemző a félvezető alapú telítődő abszorbenseken alapuló impulzusfejlődésre is abban az esetben, ha a folyamat pl. akusztóoptikai modulátorral inicializált (máskülönben nagyságrendileg több az igényelt ciklusszám).

V. A másodharmónikus keltésen alapuló impulzusrövidülés a telítési (maximális konverziós hatásfokot biztosítóhoz közeli) csúcsintenzitás értékétől 2, maximum 3 nagyságrenddel kisebb intenzitásoktól felgyorsul. Ez az a tartomány amelynek környékére valamely mechanizmussal fel kell tornáznia az előimpulzusok intenzitását.

VI. A nagyenergiás ultrarövid impulzusgenerálás inicializálási módszerének keresését elvégeztem. A femtoszekundumos oszcillátor vonatkozásában a diszperzió bevitel minimalizálása és gyors impulzusfejlődés és első közelítésben a csekély diszperzióbevitel voltak a fő követelmények. A vizsgált lehetőségek közül egyfelől a Ti:zafir gerjesztett állapotának 50 ps-os relaxációs idejének megfelelő néhány tíz pikoszekundumos impulzusokkal történő szinkron pumpálása felel meg ezeknek a feltételeknek. Ez a módszer frekvenciakétszerezett móduscsatolt Nd:YAG lézerrel kivitelezhető, de a szinkronpumpálás megvalósítása komoly technikai kihívás a YAG lézer villanólámpás pumpálása mellett. Egyrészt az ismétlési frekvenciák aktív stabilizálását igényli. Másrészt a Ti:zafir lézer 3 mikroszekundumos fluoreszcencia élettartama mellett az erősítés viszonylag kis modulációja miatt az impulzusfejlődés kezdeti szakaszában stabilan küszöb környéki pumpálást és bonyolult szabályozást kell megvalósítani a gyors impulzusfejlődés érdekében. A YAG lézer módusszinkronizálásának lehetőségét akusztóoptikai veszteségbevitellel kísérletileg is megvizsgáltam. A rendelkezésre álló eszközökkel negatív eredményt kaptam. Ennek fő oka, hogy a villanólámpa működésének következtében a rezonátorhossz jelentősen megváltozik egy „lövés” időtartama alatt is.

VII. Feladva az élvonalbeli impulzushossz elérését, a diszperziós tulajdonságok rovására más inicializáló módszer is szóba jöhet. Rövid kristályos akusztóoptikai modulátor diszperziója 1000 fs^2 környékére szorítható le amellet, hogy az eredő erősítés modulációs mélysége általános esetben szűk két nagyságrenddel haladhatja meg a szinkronpumpálását. Ilyen nagyságrendű GDD már prizmapárral kompenzálható, megjegyezve, hogy a diszperzió magasabb rendjeinek kezelése komoly tervezési feladat megoldásával lehetővé teheti 20 fs alatti impulzus előállítását is. A szabályozott erősítésű, módusszinkronizált rezonátoron belül frekvenciakétszerezett Nd:YAG lézer szabályozó elektronikája fejlesztésében csak az erősítés csökkentésének irányában sikerült elérni, hogy 10 ns -on belül változtassa a rezonátor erősítését valamely referencia szintre szabályozva.

A program által igényelt bonyolult elektronikai fejlesztések és a csak hosszú távon várható eredmények nem tették vonzóvá tudományos együttműködés keretében a szabályozott impulzuslefutású pumpáló lézer megépítését. Emellett az OPCPA rendszerek fejlődése lehetővé tette intenzív „few-cycle” impulzusok előállítását nem csupán az aktív anyagok fluoreszcencia spektruma által kijelölt hullámhosszakon, illetve sáv szélességben, amely perspektíva 2008-ra realizálódott (Krausz). A program így azt a nemzetközi összehasonlításban gyengébb célt tudta volna csak elérni, hogy több kutatóhely számára legyen elérhető egy egyszerűbb, de kötöttebb lézerrendszer az attofizikai kutatásokhoz. A kutatási program hangsúlya ennek megfelelően a fenti vizsgálatok mellett már elindított és perspektívusabb Bessel-Gauss nyalábok előállítására tevődött át. A tervezett lézerek kísérleti megvalósítása egyfelől nem volt megvalósítható a rendelkezésemre álló technikával, másfelől a munkatársak finanszírozását nem tudtam megoldani. A tervező szoftverek használatába tudtam egyedül a gyors publikáció reményében kollégát bevonni (Erdélyi Miklós, SZTE). A Fourier optikán alapuló leképező módszer fejlesztése szintén a személyes kifizetések hiánya miatt nem volt folytatható szívességi alapon. A kutatás kevésbé jelentős irányait nem vittem tovább.

VIII. A hagyományos lézerrezonátorok paraxiális megoldása mellett olyan hullámegyenleteket kielégítő megoldásokat, stabil módusokat találtam, amely nemparaxiális megoldásként speciális polarizációs állapotok megvalósítását teszik lehetővé. Az irodalom alapján pl. az ú.n. radiális polarizációjú állapot nagy numerikus apertúra esetén minden korábban ismert polarizációs állapotnál jobban fókuszálható.

XI. Számítógépes szimuláció segítségével megmutattam az új módus létét hagyományos (szférikus és sík felületű) reflexiós elemeket tartalmazó rezonátorban.

X. A nemparaxiális megoldásokra vonatkozóan egyszerű stabilitási feltétel számítási módszert adtam meg, megmutatva a módosított ABCD mátrix módszer alkalmazhatóságát. Azon a fizikai tartalommal is bíró megközelítésen keresztül, hogy a monokromatikus nemparaxiális módusokat azonos hullámhosszú Gauss-nyalábok szuperpozíciójaként, azok fázisainak szinkronizációjával származtattam. A módszer kiterjeszthető arra az esetre is, amikor a tengelymetszetre merőleges irányban nem stabil a módus, mivel a tengelymetszetben a stabilitási kritériumokat kielégítő Bessel-Gauss nyaláb megoldása a hullámegyenletnek abban az esetben is, ha az nem származtatható fizikailag létező stabil módusok szuperpozíciójaként.

XI. A nemparaxiális módusok gerjesztésére a X. pont alapján a „térbeli módusok szinkronizálásának” módszerét, mint a longitudinális módusok fázisának szinkronizációját adtam. A szakirodalom ezt a kaotikus működést eredményező problémát az LWs oszcillátor javaslatok esetén nem vizsgálja, holott a Bessel-Gauss nyalábok generálásának egyik kulcskérdése. A témám címéhez ilyen módon ezek a merőben újszerű fázisillesztést célzó kutatásaim is kapcsolódnak, mivel az impulzus üzemi Bessel-Gauss lézer működésének egyik alapja a stabil Gauss módusok fázisának szinkronizációja.

XII. Megmutattam a longitudinális módusok frekvenciátávolságának változását Bessel-Gauss és Gauss módusú működés közötti váltás esetén. Diagonális polarizáció esetén a lineáris módusok frekvenciái közül minden második eltűnik.

XIII. Elemeztem a Bessel-Gauss lézerrezonátor impulzus üzemi működtetését. Az impulzus üzemi nem használhatja ki a szoliton szerű impulzusformálódás előnyeit. Ennek oka, hogy a Kerr-lencse Bessel nyaláb esetén alapvetően változtatja meg a nyaláb jellegét, ellentétben a Gauss nyalábra gyakorolt hatásával. Ezen túlmenően a módusszinkronizálhatóság kérdése a Bessel-Gauss módusban működő lézer kapcsán számításaim szerint nem oldható meg célszerűen sem

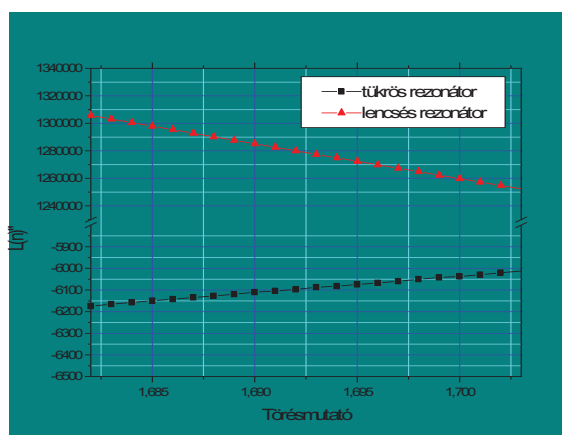
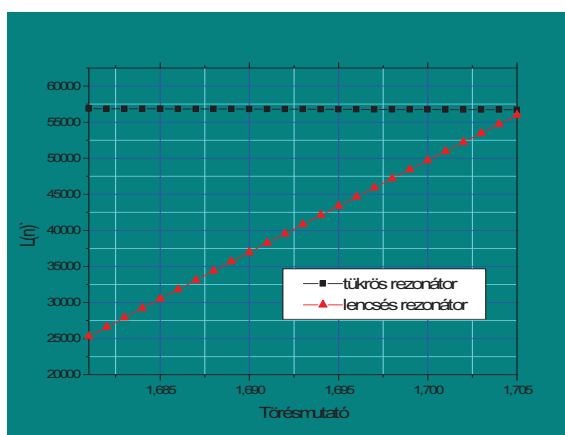
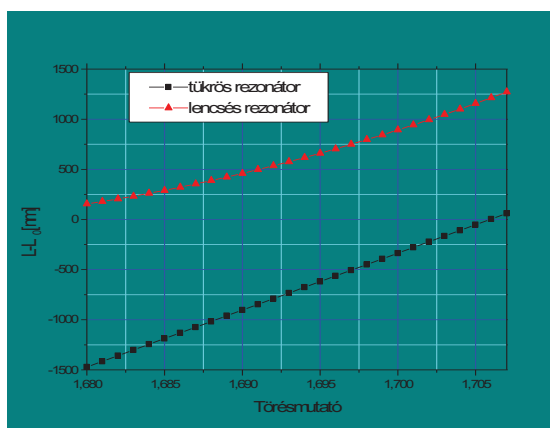
felharmónikus keltéssel, sem pedig az ultrarövid impulzusgenerálásban elterjedt módon, félvezető alapú telítődő abszorbens tükör (SESAM) alkalmazásával.

A nemlineáris módusszinkronizálás esetén célszerű felharmónikus keltés elvileg I-es típusú fázisillesztéssel egytengelyű kristályban megvalósítható, ahol a kristály és a rezonátor optikai tengelye párhuzamos, de a fázisillesztés szöge a Bessel-Gauss módusra nézve olyan kényszerfeltétel, amely a rezonátorra vonatkozó egyéb kényszerekkel a megoldást csak egyes esetekre engedi meg. Ezen túlmenően a javasolt impulzusüzemű rezonátor elveszíti egyszerűségéből fakadó előnyét.

A jelenleg ultrarövid impulzusgenerálás során általánosan alkalmazott félvezető telítődő abszorbens tükrök alkalmazása számításaim szerint nem célravezető. Ugyanis a teljesítménysűrűség csak a fókusz tartományokban elegendő a telítődés eléréséhez, azonban sík felületnek a fókuszban a Bessel-Gauss módussal csak olyan metszete van, amely a módusnak csak kis keresztmetszeti felületén idéz elő optimális nemlineáris hatást.

Telítődő abszorbanca alapján csak olyan megoldás jöhet szóba, amelynek során az abszorbeáló térfogat a teljes fókuszterefogatot tartalmazza. Ilyen megoldás valamely festékanyag alkalmazása megfelelő küvettában. Azonban ezen abszorbensek nem tesznek lehetővé ultrarövid impulzusgenerálást. Erre jelenleg egyedüli megoldásként quantum dot abszorbenst tartalmazó térfogatnak a fókuszterefogatot tartalmazó, célszerűen hengeres kialakítása ad lehetőséget.

XIV. Az általam javasolt radiálisan poláros nyalábot előállító rezonátortípus diszperziókompenzálásának lehetőségei korlátozottan bizonyultak, amelyet az optikai úthossz törésmutató-függésének számításával vizsgáltam. Az alábbi ábrák egy-egy reflexiós, illetve refraktív leképező elemet tartalmazó rezonátor Optikai úthossz/Hullámhossz függvényt és deriváltjait mutatják be:



XV. Radiálisan poláros Bessel-Gauss nyaláb előállítására holografikus módszert adtam meg, amelynek előnyei a nagy mélységélességű fókuszálás terén érvényesülnek.

XVI. A Bessel-Gauss rezonátor jelentőségét az hagyományos értelemben vett rövidimpulzus üzemű működtetésének lehetősége adja. Nincs jelenleg olyan javaslat, amely megfelelő hatásfokkal Bessel-

Gauss impulzust „X-pulse” generál. Ez a jellemzőjük a Bessel-Gauss rezonátorok kétfotonos mikroszkópiai és mikromegmunkálásban történő felhasználását teszi lehetővé.

XVII. A Bessel-Gauss nyalábok vákuumbeli terjedése egyszerű elrendezések esetén is rendkívül érdekes lehetőségeket vet fel. A hagyományos származtatás (Gori 1987) módosításával élve, amely során a Bessel-féle transzmissziós maszkot nem monokromatikus, hanem módusszinkronizált polikromatikus Gauss nyalábbal világítjuk meg, a Bessel nyaláb fókuszterfogatában egynél kisebb törésmutatójú és fénysebességet el nem érő csoportsebességet mutató kváziimpulzust figyelhetünk meg, amelynek vákuumbeli csoportsebesség diszperziója negatív. A nemesgázban történő magasharmónikus keltés küzd azzal a problémával hogy a Goose-Hänchen effektus felhasználásával előállítsa ezt a speciális terjedést, a HHG fázisillesztését megvalósítandó.

XVIII. Magyaráztam az X és Z típusú rezonátorok lézerkészőbeinek tendenciózus eltérését a diffrakciós veszteségeik különbségén keresztül.

XIX. Kristályoptikán alapuló módszert javasoltam a szférikus aberráció csökkentésére.

A lézer alkalmazási lehetőségei a nagyfelbontású valósídejű térbeli mikroszkópia, a háromdimenziós mikromegmunkálás, illetve ezen alkalmazások kombinációjával előálló térfogati adatkiolvasás és adatrögzítés. A publikációim ennek megfelelően szabadalmi bejelentések. A találmányok szabadalmaztatását az IPARJOG_08 pályázat elő körében első helyen kiemelve támogatták. Nemzetközi szakaszban két PCT bejelentést, nemzeti szakaszban európai, amerikai és indiai szabadalmi bejelentéseket tettem. Magyar bejelentéseimet nem szerepeltettem a közlemények között, mivel ezeket a találmányokat közzétételük előtt PCT bejelentéseimbe építettem be.

XX. Új alapokon nemzetközi szereplőktől független technológiát alapoztam meg a DVD Blu-ray technológiát követő lehetséges fejlődési irányként az optikai adatrögzítés területén. Az élelmi ipari érdeklődés oka, hogy a jelenlegi nagykapacitású és adatsebességű, például holografikus technológiák nem alkalmasak multimédiás tartalomterjesztésre, és a Blu-ray-jel valós határához érkezett az univerzális (szórakoztatóipari igényeket is kiszolgáló) optikai adatrögzítési technológia.

XXI. Munkám során optikai adatrögzítő és kiolvasó rendszer kidolgozását célzó projekt elemeit terveztem meg. Konkrét és teljes körű technológiai javaslatokat dolgoztam ki az adatbeírás és kiolvasás eszközeire, valamint az adathordozó anyagra. A fejlesztési projekt a szakmai befektetők által igényelt színvonalon ad megoldásokat a technikai kérdésekre.

XXII. A cserélhető lemezre történő adat beírást és olvasást egyetlen fényforráson és fényúton alapuló kompakt elrendezésben tervezzük megvalósítani olyan mechanika segítségével, amely a jelenlegi technológiákban alkalmazottakhoz nagymértékben hasonló és nem tartalmaz további mozgó alkatrészeket.

XXIII. Az író/olvasó egység koncepciója a Bessel-Gauss nyaláb azon speciális tulajdonságán alapul, hogy fókuszterfogatában az energiaterjedés és az intenzitás frontok haladásának iránya nem egyezik meg. A B-G fókuszfoltjának félérték szélességeként, illetve fókuszának mélységeként definiált értékek valójában egy interferencia jelenség jellemzői. Ez a kvázifókusz viszont rendkívül kedvező tulajdonságokkal rendelkezik az adatrögzítés szempontjából.

XXIV. Az új típusú adattároló eszköz a nem konvencionális irányú leképezés alkalmazásának következtében képes egyidejűleg 32, 64, vagy akár 128 stb. adathordozó réteget írni, illetve olvasni (az alkalmazott processzor technológiához illeszkedően), nagyságrendileg megnövelve az adatrögzítés és kiolvasás sebességét. Összehasonlítva a CD típusú technológiákkal, a hagyományos 11 Mbps-ről 350-8000 Mbps-re növelhető az adatkiolvasás sebessége.

XXV. Az adatrögzítés sebessége csaknem három nagyságrenddel növelhető a jelenlegi DVD írási sebességéhez képest. Az adathordozó anyag speciális tulajdonságainak köszönhetően lehetőség nyílik optikai processzorok direkt adatkiolvasására is. A nagy R/W sebesség következtében az eszköz magas biztonsági követelményeket kielégítő optikai merevlemezként is üzemelhet a.

XXVI. Üvegtömbben ablált térfogati mintázat leképezésével demonstrációs vizsgálatokat végeztem gyűrűs apertúra és leképező elem kombinációjával.

XXVII. Nd:YAG 3. harmonikusával pumpálva IR fluoreszcenciát mutattam ki Nd:üveg lézeryagban.

A találmány alkalmazásával egy hagyományos méretű optikai lemez tárolókapacitása elérheti a TeraByte-os nagyságrendet (160 GB-10 TB), szemben a jelenlegi néhány GigaByte-tal.

A rendszer kompatibilis a jelen és a közeljövő DVD standarjaival, leváltásukra alkalmas.

A rendszer képes kiszolgálni a fiziológiailag indokolt végső multimédiás igényeket (pl. szélsőségesen finom képfelbontás), új alapokra helyezve a képfeldolgozást.

Az olvasó eszközhöz illeszkedő új ROM könnyen és gyorsan reprodukálható nyomdai úton. Egyetlen más térfigurális adattárolási technológia sem rendelkezik ezzel a lehetőséggel.

A rendszer önszervező módon rögzíti az információt, nem igényelve speciális rétegszerkezet kialakítását, csökkentve az előállítási költségeket és a rendszer mechanikai érzékenységet.

A találmány hasznosítását először nemzetközi szereplők bevonásával igyekeztem megoldani, de az EBRD-vel folytatott tárgyalás nem vezetett eredményre. A Sony-val folytatott sikertelen tárgyalások után döntöttem úgy, hogy a know-how elemeit nem közlöm le, hanem a hasznosítás biztonságosabb hazai lehetőségeit használom ki.

A Bessel-Gauss nyalábbal, vagy radiális polarizációval foglalkozó irodalom ugyanis problémafelvetés szintjén sem tárgyalja az alkalmazáshoz szükséges kérdéseket, ezért a találmányokat minimális kitanítással költség okokból egy nemzetközi bejelentésben foglaltam össze. A nemzeti szakaszokban lehetőség nyílik a bejelentések különböző szabadalmakra bontására, illetve az egyes nemzeti bejelentésekben a bejelentés egységének megtartása címén más-más találmányokat szabadalmaztathatok.

A szabadalomként bejelentett technológia az alábbi találmányok elemeit használja fel:

Gyors, robusztus mikromegmunkálás Bessel-Gauss lézerimpulzusokkal
Megnövelt időfelbontású realtime kétfotonos mikroszkópia
Új típusú holografikus adatrögzítő és adatkiolvasó technika
Kép-kép típusú multiplexelt adatrögzítés és adatkiolvasás Bessel-Gauss lézernyalábbal
Impulzus üzemű Bessel-Gauss lézerezonátor

Hazai programokhoz tudtam kapcsolni a fejlesztést, ezek a programok közvetlenül kormányzati jóváhagyás előtt állnak.

Köszönöm az OTKA és az MTA SZFKI által nyújtott lehetőséget és segítséget a fenti eredmények eléréséhez és hasznosításuk előkészítéséhez.

Appendix A

The simplest optical resonators were used and investigated since 50 years, but stable modes were found only in paraxial approximation. As first step our investigation used ray-tracing method to explore stable modes for cavities with high NA imaging elements. The solutions regarding plan parallel resonators combined with high NA lenses are not so impressive, but reflective resonator generalized from the refractive shows much better the new modes. The figure 1.a below shows the ray paths for the refractive cavity depicted on figure 1.b.

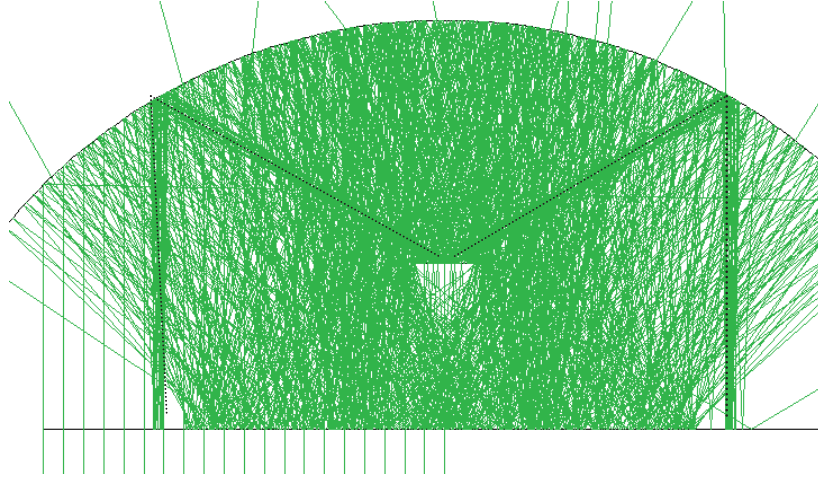


Fig. 1.a Ray-tracing simulation. Nonparaxial stable ray path is outlined with dashed line.

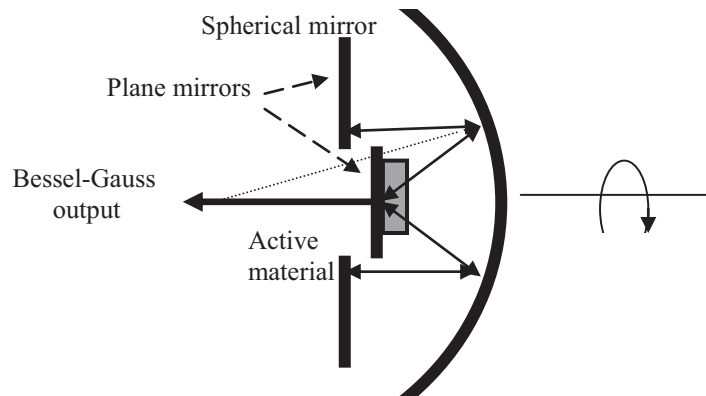


Fig. 1.b Intersection of a possible resonator arrangement. The arrangement has cylindrical symmetry. The dotted line is a radius of the spherical mirror and the arrows between the mirrors show the non paraxial light path.

Because of the small divergence of the calculated mode, the solution is controlled and the beam parameters in the plain of the intersection can be calculated by ABCD method. The calculated mode can be stable also in the direction perpendicular to the above plain, which causes also chaotic behaviour in the field of mode competition. The control of the cylindrical-Bessel-Gauss mode operation is achievable [1]. The locking of the spatial modes can be produced by using the interference in the vicinity of the focal area of the Bessel-Gauss beam. Because of the above mentioned interference, the whole energy flux is flowing through the small focal volume of the Bessel-Gauss beam. The minimal area, where the whole energy flux is flowing through in the case of chaotic mode fluctuation more wider than in case of locked spatial modes, and their geometry is changing.

In case of the spatially coherent operation because of the cylindrical symmetry special longitudinal mode selection occurs. It is shown in the simpler case of diagonal polarisation state, that the longitudinal mode spacing double in frequency, than that of the stable linear mode. In case of radially output, the mode structure is function of the NA of the output beam. The resulted beams have also cylindrical symmetry in polarisation, which can be easily controllable as radially or diagonally if it is required.

Such Bessel-Gauss and also radially polarized beam production is more simpler and efficient, than earlier [2].

[1] F. Gori, G. Guttari, C. Padovani, „Bessel-Gauss beams”, Opt. Comm. 64 (6), 491-495 (1987)

[2] R. Dorn, S. Quabis, G. Leuchs, „Sharper focus for radially polarized light beam”, PRL **91**,. 23 233901 (2003)

APPENDIX B

Our investigation was done on using laser beams with non-conventional topology for data storage applications. The main problem of the volumetric data storage methods, from the viewpoint of ROM production, the simultaneous high RW speed, and the printable reproduction. Fourier type storage methods (holographic-volumetric) require especially difficult calculations and unachievable fine master production. The key to the solution is using special features of the focal area of the Bessel-Gauss beams.

Special emphasis should be laid on the work done in the field of superluminal propagation and Gouy phase anomaly. For the deeper understanding of the phenomenon it is especially fruitful to decompose the angular spectrum of the Gauss beam into Bessel beams. In the case of pulses propagating as Bessel components, a pulse propagating in the direction of the optical axis with superluminal group velocity appeared in case of each component. This shows the quasi focus feature of the focal area of the Bessel-Gauss beams and leads to the recognition that for Bessel beams independent spatial portions of the optical axis having an extension commensurable with the half value width of the focus. More generally, similar spatial portions of an axis pointing into a direction significantly different from directions within the angular spectrum are not in action connection even in the case when a relatively small separation distance, dependent on their normal-to-axis extension and the angular deviation of the latter axis, is introduced between them. This, on the one hand, means that the positions of constituents of a pattern similar to the above mentioned one, consisting of uniform shapes and being disposed on the optical axis, can be definitely recovered from the diffracted beam, for instance with the application of a relatively simple arrangement described on figure 1.

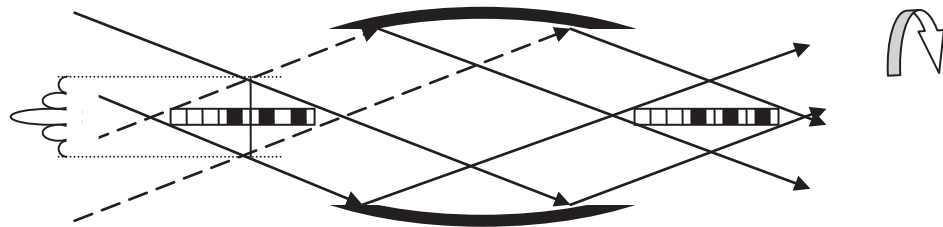


Fig. 1. Schematic optical arrangement for imaging optical axis directed bit array using Bessel-Gauss beams for illumination

On the other hand, by reversing this operation it is in principle possible to modulate individual spatial portions of the optical axis separately from one another. Laser beams with conventional topology do not have this property, which, although does not exclude their application for multiplexing, but still affects the stability of the system negatively. Obstructing the central maximum of Bessel beams causes the maximum to reappear in the course of the propagation of the beam [1]. According to my calculations complete regeneration occurs at the above mentioned "separation distance" from the location of obstruction. The Bessel-Gauss beams allows also high flux bit array to bit array imagination directed to the optical axis, which allows the printable reproduction using layered media. The proposed imagination can be used in every position of the optical disc storage media producing quasi volumetric data storage, multiplexed RW realizable on 32, 64 etc. layers. The intensive Bessel-Gauss beam production is also achievable.

[1] Belyi V.N., Kazak N.S., Khili N.A. "Properties of parametric frequency conversion with Bessel light beams", Opt. Comm. **162**, 169-176 (1999)